Комбинационное рассеяние света и фотолюминесценция в микроструктурах оксида цинка, помещенных в фотонные ловушки

И.А. Рахматуллаев[*,1], Н.В. Чернега[2], М.Х. Давронов[1], О.М. Турсункулов[1]

[1]Центр передовых технологий при Министерстве инновационного развития Республики Узбекистан, ул. Талабалар шахарчаси, 3а, 100174, Ташкент, Узбекистан
[2]Физический институт имени П.Н.Лебедева РАН, Ленинский проспект, 53, 119991, Москва, Россия

Получена 08.09.2022, revised 10.11.2022

*Corresponding author: e-mail: ilyoss@rambler.ru, Phone: +998 90 186-95-97

Методами сканирующей электронной микроскопии, фотолюминесцентной и рамановской спектроскопии исследованы морфология поверхности и оптические свойства микроструктур (с поперечными размерами 2–8 мкм) оксида цинка. Спектры комбинационного рассеяния исследованных образцов характеризуются аномально большой интенсивностью, что связано с пленением возбуждающего излучения в минирезонаторах-кюветах (фотонных ловушках). Высокая эффективность преобразования возбуждающего излучения в сигнал комбинационного рассеяния объясняется большим значением полного пути, который фотон возбуждающего излучения проходит в дисперсной среде, находящейся в фотонной ловушке. Обнаружено, что при комнатной температуре наблюдается довольно интенсивная фотолюминесценция в микроструктурах оксида цинка в области $\lambda_{мак}$=385–390 нм при возбуждении второй оптической гармоникой ($\lambda_{возб}$=255.3 нм) лазера на парах меди. Полученные результаты могут быть использованы для создания новых лазерных материалов на базе микро- и наноструктур оксида цинка. Разработанный оригинальный метод на основе фотонных ловушек открывает большие перспективы для регистрации слабых сигналов вторичного излучения широкого класса неорганических и органических ультрадисперсных сред.

Ключевые слова: оксид цинка, фотонная ловушка, фотолюминесценция, комбинационное рассеяние света, сканирующая электронная микроскопия, элементный анализ.

The surface morphology and optical properties of zinc oxide microstructures have been studied by scanning electron microscopy, photoluminescence and Raman spectroscopy. Microcrystals with transverse dimensions of 2–8 μm were studied. The Raman spectra of the studied samples were characterized by an anomalously high intensity, which was associated with the trapping of the exciting radiation in the minicavity cuvettes (photon traps). The high conversion efficiency of the exciting radiation into a Raman scattering signal is explained by the large value of the total path that the photon of the exciting radiation travels in a disperse medium in a photon trap. It was found that at room temperature quite intense photoluminescence is observed in zinc oxide microstructures in the region λ_{max} = 385–390 nm upon excitation by the second optical harmonic (λ_{ex} = 255.3 nm) of a copper vapor laser. The results obtained can be used to create new laser materials based on zinc oxide micro- and nanostructures. The developed original method based on photon traps opens up great prospects for detecting weak signals of secondary radiation of a wide class of inorganic and organic ultradisperse media.

Keywords: zinc oxide, photon trap, photoluminescence, Raman scattering, scanning electron microscopy, elemental analysis.

DOI: https//doi.org/10.52304/.v24i4.383

I. Введение

В настоящее время микро- и, особенно, наноструктуры приобрели большой интерес в связи с разработкой новых методов их синтеза, а также в связи с широким практическим применением [1, 2]. Для детального исследования подобных образцов нужно иметь точные данные о структурных свойствах этих систем.

В последние годы интерес к получению и исследованию структур оксида цинка (ZnO), в том числе наноразмерных, существенно возрос [3, 4]. Высокая востребованность этого материала обусловлена уникальной комбинацией электрофизических, оптических и химических свойств, а также доступностью сырья и возможностью создания энергоэффективного и экологически приемлемого производства [4-6].

ZnO относится к классу полупроводниковых соединений $A^{II}B^{VI}$ с проводимостью *n*-типа [7-9]. Энергия ионизации донорной примеси составляет E_d=0.02–0.05 эВ [8-13]. Ширина запрещенной зоны ZnO равна 3.422 эВ при 77 K и 3.374 эВ при 300 K [8-11].

Использование спектроскопии комбинационного рассеяния света (КРС) для анализа структурной эволюции микро- и наноструктур ZnO позволяет получить важную информацию не только о качественном составе этих материалов, но и о состоянии приповерхностных областей кристаллитов [4]. В связи с этим в последние годы в мире активно ведутся исследования в этом направлении [4, 7, 14-16].

Люминесценция ZnO может состоять из большого количества спектральных полос и охватывать достаточно широкий диапазон, включая практически всю видимую и ближнюю УФ области [9, 17]. Экситонная люминесценция (люминесценция свободных экситонов) ZnO при комнатной температуре обычно наблюдается в диапазоне энергий 3.20–3.26 эВ, что определяется методами и условиями роста [18-19]. Экситонная фотолюминесценция (ФЛ) наблюдалась в диапазоне длин волн ~381–387 нм [20].

Анализ литературных данных показал, несмотря на большое количество литературных данных по исследованию микроструктур ZnO, тем не менее, отсутствуют данные по комплексному изучению различных физических свойств микроструктур данного объекта, что является актуальной задачей. Например, слабо изучены вопросы по влиянию размеров частиц на оптические свойства микро- и наноструктур ZnO. К настоящему времени отсутствуют данные о закономерностях и особенностях формирования спектров КРС и ФЛ микроструктур ZnO в фотонных ловушках [21-25].

В связи с этим целью настоящего исследования является комплексное изучение морфологии и оптических свойств микроструктур ZnO методами сканирующей электронной микроскопии, фотолюминесцентной и рамановской спектроскопии.

II. Методика эксперимента

Синтез микроструктур (микрокристаллов) ZnO проводили методом микроволнового разложения: 2 г порошка ZnO (Aldrich, 99% чистоты) и 1 мл раствора этиленгликоля смешивали и растирали в агатовой ступке в течение 20 мин. Затем смешанный порошок в количестве 2 г загружали в тигель из оксида алюминия и ставили в центр микроволновой печи при комнатной температуре в условиях нормальной атмосферы. В микроволновке проводили обработку порошка в течение 15 мин при 180°C. После этого на полученную структуру наносили контакт с помощью серебряной пасты.

Морфологию поверхности и элементный анализ микроструктур ZnO изучали с помощью сканирующего электронного микроскопа SEM – EVO MA 10 (Carl Zeiss, Германия). Измерения проводили в режиме детектирования вторичных электронов (SED). Элементный состав на локальном участке определяли с помощью энергодисперсионного элементного анализатора марки AZtec (Oxford Instruments, Великобритания). В процессе изучения элементного состава получены электронные фотографии интересуемых локальных участков, определены процентное соотношение элементов, характерное для данных участков, и спектральные распределения. Особенность методики изучения образцов посредством сканирующего электронного микроскопа (СЭМ) заключается в следующем. Для проведения процесса пробоподготовки на предметный столик СЭМ устанавливали держатель из металлического сплава, поверх которого приклеена алюминиевая

©Академия наук Республики Узбекистан, 2022 г.

фольга с двухсторонней клейкой поверхностью. На эту фольгу наносили исследуемые порошки, после чего предметный столик устанавливали в рабочую камеру микроскопа. В ходе измерения подавали ускоряющее напряжение (EHT – Extra High Tension) 20 кВ. Рабочее расстояние (WD-working distance) составляло 8.5 мм. Изображения были получены с помощью программного обеспечения SmartSEM.

Для возбуждения и регистрации спектров КРС и ФЛ использовали волоконно-оптическую методику. Схема экспериментальной установки приведена на рис. 1.

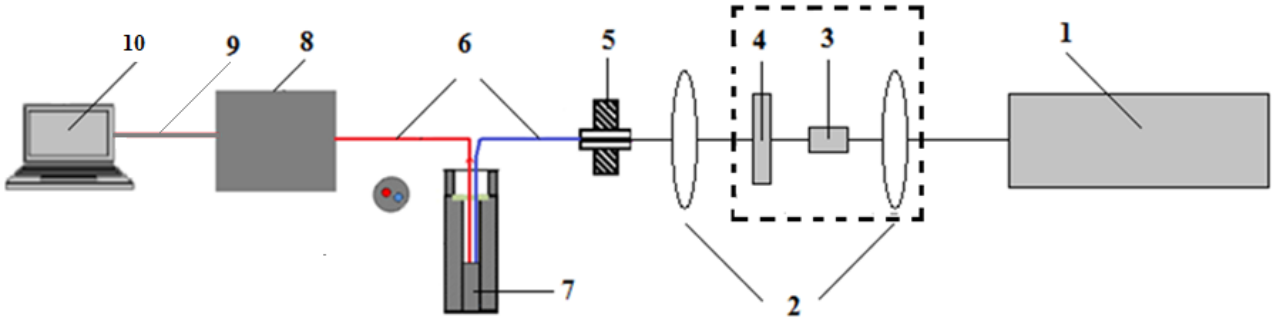


Рисунок 1. Схема экспериментальной установки. 1 – лазер на парах меди; 2 – собирающая линза; 3 – BaB_2O_4 (BBO); 4 – светофильтр; 5 – держатель световода; 6 – световод; 7 – резонаторная кювета (фотонная ловушка) с образцом; 8 – миниспектрометр FSD-8; 9 – USB-кабель; 10 – компьютер.

В качестве источника возбуждения использовали лазер на парах меди, генерирующий излучение в видимой области спектра с длинами волн 510.6 и 578.2 нм. Генерацию осуществляли в монохроматическом режиме (λ=510.6 нм), при этом желтая линия (λ=578.2 нм) была подавлена фильтром. Возбуждающее излучение лазера (1) с помощью световода (6) направляли внутрь кюветы с образцом (7). Вторичное излучение входило в другой световод (6) диаметром 100 мкм и направлялось к входной щели волоконно-оптического мини-спектрометра (8). С мини-спектрометра цифровую информацию о спектре вторичного излучения посредством USB-кабеля (9) передавали на компьютер (10). Средняя мощность излучения лазера 10 Вт. Излучение генерируется в импульсно-периодическом режиме с большой частотой следования (10^4 Гц) коротких (20 нс) импульсов генерации с пиковой мощностью 10^5 Вт. Наиболее эффективной для изучения спектров ФЛ оказалась вторая оптическая гармоника зелёной линии (510.6 нм) генерации лазера, соответствующая длине волны излучения λ=255.3 нм. Высокая пиковая мощность лазерного излучения позволяет осуществить эффективное удвоение и сложение частот линий генерации лазера путем использования нелинейно-оптических кристаллов (BaB_2O_4). Излучение от активного элемента лазера на парах меди, работающего в режиме неустойчивого резонатора, фокусировали длинно-фокусной линзой в нелинейно-оптическом кристалле BaB_2O_4. Кристалл был вырезан таким образом, что условие синхронизма выполнялось для удвоения частот исходного лазерного излучения. Таким образом, на выходе кристалла возникало УФ излучение с длиной волны 255.3 нм. Излучение лазера видимого диапазона устранялось с помощью абсорбционного фильтра, помещаемого сразу после BaB_2O_4.

Для усиления сигнала вторичного излучения (ВИ) в порошках нами были изготовлены специальные конструкции других типов металлических кювет: минирезонаторные кюветы различных видов – фотонные ловушки, т.е. кюветы, в которых излучение претерпевает многоразовое отражение и рассеяние. Эти кюветы имели диаметр капилляра 1.5–3 мм и длину 20–50 мм [24]. Кюветы использовали для работы по схеме «на отражение» и «на просвет». Идея использования фотонных ловушек (рис. 2) состоит в том, что значительная часть доли первичного (лазерного) света, попадая в ловушку, переходит во ВИ. Было установлено, что конусообразная полость оказалась самым оптимальным вариантом для усиления сигналов ВИ (рис. 2б). Экспериментальные исследования проводили при комнатной температуре.

©Академия наук Республики Узбекистан, 2022 г.

Использование светофильтров позволило уменьшить интенсивность возбуждающей линии лазера в спектре ВИ почти в 100 раз при полном пропускании сигнала ВИ. Светофильтры использовали в основном при работе по схеме «на отражение». Для метода «на просвет» оказалось возможным регистрировать ВИ без использования каких-либо фильтров, так как при этом лазерное излучение сильно ослаблялось на выходе из кюветы из-за процессов многократного рассеяния в исследуемой среде [21-25].

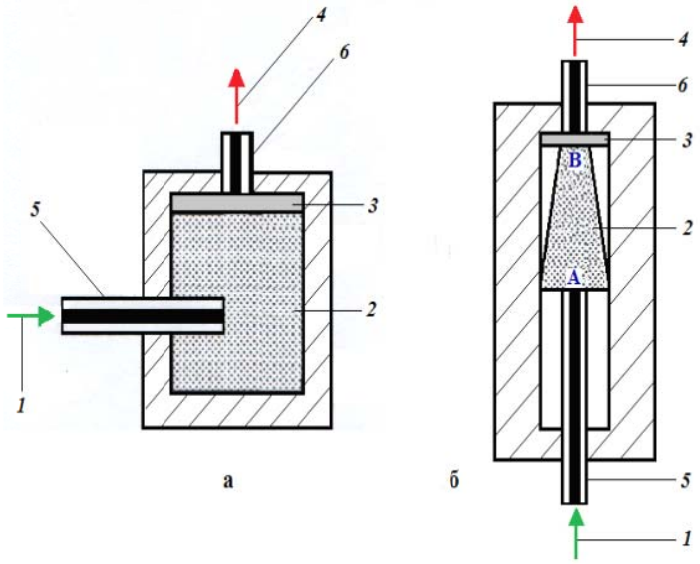


Рисунок 2. Устройство минирезонаторной кюветы (фотонной ловушки) с цилиндрическим (а) и конусным (б) резонаторами: *1* – возбуждающее излучение; 2 – исследуемое вещество (порошок); *3* – абсорбционный светофильтр; *4* – вторичное излучение; *5* – входной световод; *6* – выходной световод.

III. Экспериментальные результаты и их обсуждение

На рис. 3 приведено СЭМ изображение микроструктуры ZnO. Из рассмотрения СЭМ-изображения типичного образца можно видеть, что он представляет собой образование в виде произвольно ориентированных агломератов с поперечными размерами до 8 мкм. Основная фракция – 2–3 мкм. Из элементного анализа видно, что в исследованных образцах не содержатся посторонние примеси (рис. 4).

Спектры КРС микроструктур ZnO различных размеров при их возбуждении зеленой линией лазера на парах меди ($\lambda_{возб}$=510.6 нм) представлены на рис. 5. По мнению авторов работы [4] в спектрах КРС порошков ZnO можно выделить следующие моды: 1) с частотой ~100 см$^{-1}$; 2) моду при ~340 см$^{-1}$, которую относят к разностному фонону $E_2^{выс} - E_1^{низк}$; 3) при ~435 см$^{-1}$; 4) E_1(LO) при ~580 см$^{-1}$ (LO – продольные оптические фононы); 5) широкую полосу между 1060 и 1190 см$^{-1}$, которую можно отнести к комбинации мод A_1 и E_2.

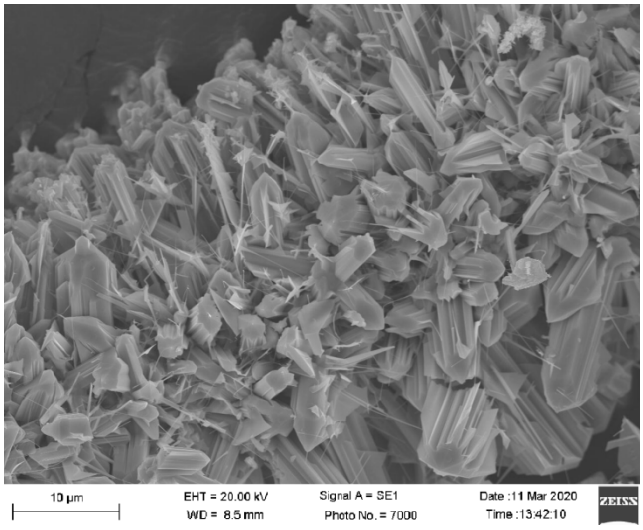


Рисунок 3. СЭМ-изображение микроструктур ZnO.

Основное спектральное изменение, наблюдаемое в спектрах КРС исследуемых образцов, заключается в монотонном увеличении интенсивности E_1(LO) моды (580 см$^{-1}$) и появлении плеча в области 100−200 см$^{-1}$ аналогично результатам, полученным в работе [4]. По мнению авторов [4],

©Академия наук Республики Узбекистан, 2022 г.

данное явление может быть объяснено микродеформациями кристаллической решетки, а также присутствием в материале примесей или

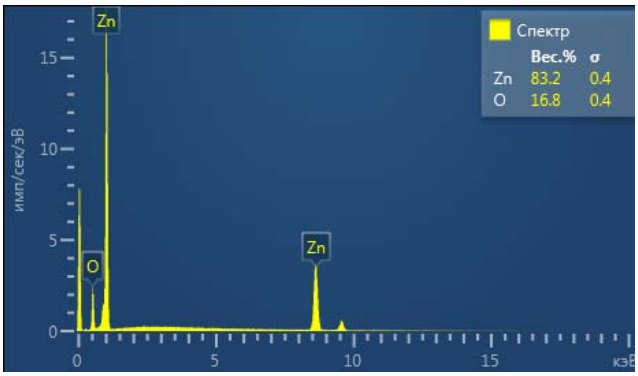


Рисунок 4. Элементный состав микроструктур ZnO.

точечных дефектов. По их мнению, с ростом времени измельчения будет возрастать концентрация дефектов в ZnO, а также наблюдаться множественные разрывы связей в приповерхностных областях. В наших экспериментах было показано [21-24], что в фотонных ловушках интенсивность КРС микропорошков различных веществ на выходе из кюветы существенно возрастает: наблюдается существенное возрастание относительной интенсивности КРС в сравнении с интенсивностью возбуждающей линии (режим комбинационной опалесценции). Это объясняется значительным увеличением полного пути, который фотон возбуждающего излучения проходит в исследуемом веществе за счет многократного отражения от стенок ловушки и рассеяния на неоднородностях среды. Это связано с тем, что при попадании в такие структуры возбуждающего излучения с длиной волны, меньшей размера микрочастиц, возможно пленение излучения в результате многократного отражения от стенок микрорезонаторных кювет. В работе [24] было доказано, что при использовании фотонной ловушки контрастность КРС на выходе из кюветы для веществ, находящихся в ультрадисперсной форме, по сравнению с обычными типовыми кюветами, возрастает на пять порядков. При этом наблюдается комбинационная опалесценция, то есть сигнал КРС в спектре ВИ оказывается сравнимым по интенсивности с возбуждающим излучением.

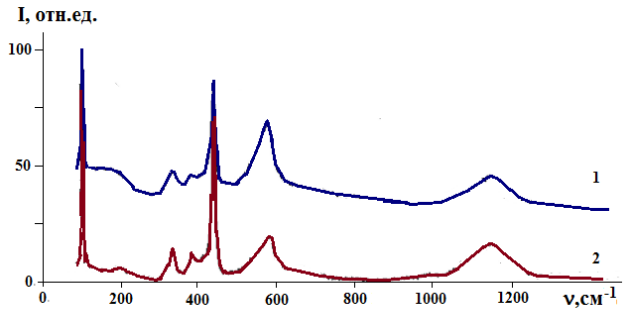


Рисунок 5. Спектры КРС микроструктур ZnO различных размеров при их возбуждении зеленой линией лазера на парах меди ($\lambda_{возб}$=510.6 нм): 1 – $d_{ср}$= 3 мкм; 2 – $d_{ср}$= 7 мкм ($I_{возб}$~10^5 Вт/см^2).

На рис. 6 представлены спектры микроструктур ZnO различных размеров при их возбуждении второй оптической гармоникой ($\lambda_{возб}$=255.3 нм) лазера на парах меди. Спектры зарегистрированы при одинаковых условиях возбуждения и регистрации. Этот факт исключает возникновение различий, вызванных методикой. Как видно из рисунка, с уменьшением размера частиц максимум ультрафиолетовой полосы слегка перемещается в коротковолновую область

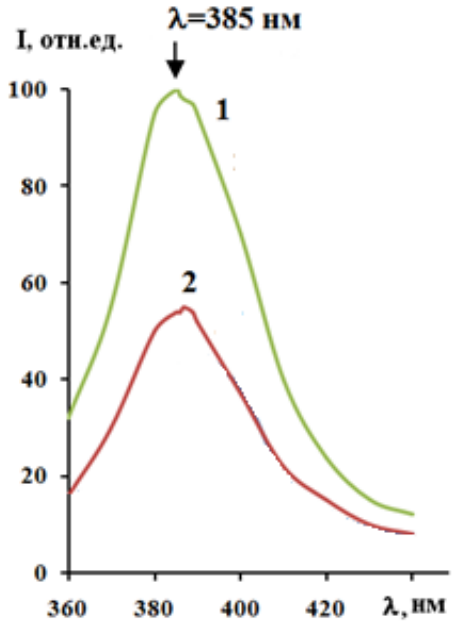


Рисунок 6. Спектры ФЛ микроструктур ZnO различных размеров при одних и тех же условиях возбуждения ($\lambda_{возб}$=255.3 нм): 1 – $d_{ср}$= 3 мкм; 2 – $d_{ср}$= 7 мкм ($I_{возб}$~10^6 Вт/см^2).

Спектральная интенсивность спектра ФЛ микроструктур ZnO $\lambda_{мак}$= 390 нм для $d_{ср}$= 7 мкм

©Академия наук Республики Узбекистан, 2022 г.

меньше соответствующей интенсивности пика ФЛ ($\lambda_{мак}$= 385 нм) для образцов со средним размером частиц 3 мкм примерно в 2 раза. Различие интенсивности и положение ФЛ этих спектров связаны с тем, что между гранями частиц образуются поры, которые дают больший вклад в рассеяние света, чем в эффективное поглощение квантов возбуждающего излучения, а также с влиянием различных дефектов и напряжений, возникающих при больших интенсивностях лазерного излучения. Наблюдаемые максимумы ФЛ микроструктур ZnO в области 385–390 нм соответствуют положению 3L0 полосы из серий многофононной аннигиляции А-экситонов.

IV. Заключение

Таким образом, методами сканирующей электронной микроскопии, фотолюминесцентной и рамановской спектроскопии комплексно изучены морфология и оптические свойства микроструктур ZnO. Выявлено, что при комнатной температуре наблюдается довольно интенсивная фотолюминесценция в микроструктурах ZnO в области $\lambda_{мак}$= 385–390 нм при возбуждении второй оптической гармоникой ($\lambda_{возб}$= 255.3 нм) лазера на парах меди. Впервые на примере микроструктур ZnO показано, что в подобных структурах может быть реализован режим комбинационной опалесценции, состоящий в аномальном возрастании интенсивности КРС в спектре вторичного излучения. Высокая эффективность преобразования возбуждающего излучения в сигнал КРС объясняется большим значением полного пути, который фотон возбуждающего излучения проходит в дисперсной среде, находящейся в фотонной ловушке.

Разработанный метод регистрации спектров ФЛ и КРС на основе разработанных минирезонаторов (фотонных ловушек) открывает возможность для создания малогабаритных лазерных анализаторов химических соединений, необходимых для решения многих практических задач.

Благодарности. Авторы благодарят покойного профессора В.С. Горелика за помощь в проведении измерений оптических свойств образцов.

Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства инновационного развития Республики Узбекистан (прикладной проект № ПЗ-2017092438 на тему «Разработка технологии получения наноструктурированных катализаторов на основе переходных металлов и их оксидов»).

Метаданные

Raman scattering and photoluminescence in zinc oxide microstructures placed in photon traps

I.A. Rakhmatullaev[1], N.V. Tcherniega[2], M.Kh. Davronov[1], O.M. Tursunkulov[1]

[1]Center for Advanced Technologies under the Ministry of Innovative Development of the Republic of Uzbekistan, Talabalar shaharchasi str., 3a, 100174, Tashkent, Uzbekistan

[2]P.N. Lebedev Physical Institute of the Russian Academy of Sciences, Leninsky prospect, 53, 119991, Moscow, Russia

The surface morphology and optical properties of zinc oxide microstructures have been studied by scanning electron microscopy, photoluminescence and Raman spectroscopy. Microcrystals with transverse dimensions of 2–8 μm were studied. The Raman spectra of the studied samples were characterized by an anomalously high intensity, which was associated with the trapping of the exciting radiation in the minicavity cuvettes (photon traps). The high conversion efficiency of the exciting radiation into a Raman scattering signal is explained by the large value of the total path that the photon of the exciting radiation travels in a disperse medium in a photon trap. It was found that at room temperature quite intense photoluminescence is observed in zinc oxide microstructures in the region λ_{max} = 385–390 nm upon excitation by the second optical harmonic (λ_{ex} = 255.3 nm) of a copper vapor laser. The results obtained can be used to create new laser materials based on zinc oxide micro- and nanostructures. The developed original method based on photon traps opens up great prospects for detecting weak signals of secondary radiation of a wide class of inorganic and organic ultradisperse media

Keywords: zinc oxide, photon trap, photoluminescence, Raman scattering, scanning electron microscopy, elemental analysis.

Литература (References)

[1] U.K. Makhmanov, A.M. Kokhkharov, S.A. Bakhramov. Fullerenes, Nanotubes and Carbon Nanostructures **27**, No.3, 273-278 (2019). doi /10.1080/1536383X.2019.1570922.

[2] A.D. Kudryavtseva, M.A. Shevchenko, N.V. Tcherniega, S.F. Umanskaya, A.N. Baranov. Journal of Russian Laser Research **42**, No.3, 682-687 (2021). doi /10.1007/s10946-021-10010-5.

[3] V.S. Burakov, N.V. Tarasenko, E.A. Nevar, M.I. Nedelko. Jurnal Tekhnicheskoy Fiziki **81**, No.2, 89-97 (2011).

[4] I.A. Averin, I.A. Pronin, N.D. Yakusheva A.A. Karmanov, M.M. Sychev, S.V. Vikhman, V.S. Levitsky, V.A. Moshnikov, E.I. Terukov. Jurnal Tekhnicheskoy Fiziki **89**,

©Академия наук Республики Узбекистан, 2022 г.

No.9, 1406-1411 (2019). doi /10.21883/JTF.2019.09.48067.437-18.
[5] C.B. Ong, L.Y. Ng, A.W. Mohammad. Renewable and Sustainable Energy Review **81**, 536–551 (2018). doi /10.1016/j.rser.2017.08.020.
[6] D.T. Dimitrov, N.K. Nikolaev, K.I. Papazova, L.K. Krasteva, I.A. Pronin, I.A. Averin, A.S. Bojinova, A.Ts. Georgieva, N.D. Yakushova,T.V. Peshkova, A.A. Karmanov, N.V. Kaneva, V.A. Moshnikov. Applied Surface Science **392**, 95-108 (2017). doi /10.1016/j.apsusc.2016.08.049.
[7] D.V. Ismailov. Nanostrukturovannie sloi i tonkie plenki na osnove oksida tsinka. Diss. kand. texn. nauk (Tomsk, 2018), 158 p.
[8] V.V. Neschimenko. Struktura, svoystva i radiatsionnaya stoykost' oksidnykh mikro i nanoporoshkov i otrajayushikh pokrytiy, izgotovlennykh na ikh osnove. Diss. doktora fiz.-mat. nauk (Tomsk, 2016), 273 p.
[9] A.P. Tarasov. Luminetsentsiya mikrostruktur oksida tsinka i vliyanie na neyo poverxnostnogo plazmennogo rezonansa i magnitnogo polya. Diss. kand. fiz.-mat. nauk (Moskva, 2019), 125 p.
[10] E.D. Kilb, R.A. Laudise. J. Am. Ceram. Soc. **48**, No.7, 342-345 (1965).
[11] D.G. Thomas, J.J. Gander. J. Chem. Phys. **25**, No.6, 1136-1142 (1956).
[12] D.T. Dimova-Aliakova. Thin Solid Films **36**, No.1, 179-182 (1976).
[13] J. Aranovich. J. Vacuum Sci. and Technol. **16**, No.4, 994-1003 (1979).
[14] V.N. Strekalovsky, E.G. Vovkotrub, A.L. Ivanovsky. Analitika i Kontrol **9**, No.4, 349-359 (2003).
[15] A.N. Chumakov, A.V. Gulay, A.A. Shevchenok, T.F. Raychenok, A.G. Karoza, A.S. Masunovich, N.A. Bosak, V.A. Gulay. Elektronika Info, No.2, 32-37 (2016).
[16] I.A. Rakhmatullaev, O.M. Tursunkulov, A.L. Gusev , O.F. Tukfatullin, A.K. Kurbonov, M.R. Rakhmatullaev, M.K. Kodirov, M.Kh. Davronov, A.A. Eshkulov. Inter.Sci. Jour. "Alternativnaya energetika i ekologiya". No.04-06, 126-138 (2021).doi /10.15518/isjaee.2021.04-06.126-138.
[17] S.S. Kurbanov, T.W. Kang. Journal of Luminescence **158**, 99-102 (2015). doi /10.1016/j.jlumin.2014.09.019.
[18] G. Kumar, R. Kumar, A. Kumar. Rev. Adv. Sci. Eng. **5**, 150-160 (2016).
[19] I.A. Pronin, N.D. Yakushova, M.M. Sychev, A.S. Komolov, S.V. Myagkin, A.A. Karmanov, I.A. Averin, V.A. Moshnikov. Fizika i Khimiya Stekla **45**, No.3, 274-287 (2019). doi /10.1134/S0132665119010153.
[20] G.A. Emelchenko, A.N. Gruzintsev, A.B. Kulakov. Fizika i Tekhnika Poluprovodnikov **41**, No.2, 182-185 (2007).
[21] V.S. Gorelik, I.A. Rakhmatullaev. Journal of Russian Laser Research. **26**, No.1, 66-82 (2005). doi /10.1007/s10946-005-0007-3.
[22] V.S. Gorelik, I.A. Rakhmatullaev. Inorganic Materials **40**, No.7, 686-689 (2004). doi /10.1023/B:INMA.0000034766.98987.de
[23] V.S. Gorelik, I.A. Rakhmatullaev. Technical Physics **50**, No.1, 61-64 (2005).doi /10.1134/1.1854824.
[24] I.A. Rakhmatullaev, V.S. Gorelik, R.A. Muminov, O.M. Tursunkulov, O.F. Tukfatullin, M.R. Rakhmatullaev, A.K. Kurbonov. Scientific-Technical Journal (FerPI) **4**, No.1, 46-53 (2021).
[25] V.S. Gorelik, I.A. Rakhmatullaev. RF patent No. 2289121. Official Bulletin. No.34, pp.1-5 (2006).

Фотонли тузоқларга жойлаштирилган рух оксиди микроструктураларида ёруғликнинг комбинацион сочилиши ва фотолюминесценция

И.А. Рахматуллаев[1], Н.В. Чернега[2], М.Х. Давронов[1], О.М. Турсункулов[1]

[1]Ўзбекистон Республикаси Инновацион ривожланиш вазирлиги ҳузуридаги, Илғор технологиялар маркази, Талабалар шаҳарчаси кўчаси, 3а, 100174, Тошкент, Ўзбекистон
[2]Россия Фанлар академиясининг П.Н. Лебедев номидаги Физика институти, Ленин проспекти, 53, 119991, Москва, Россия

Сканерли электрон микроскопия, фотолюминесценция ва Раман спектроскопияси усуллари билан рух оксиди микроструктураларининг сирт морфологияси ва оптик хусусиятлари тадқиқот қилинган. Тадқиқот этилган микрокристалларнинг кўндаланг кесим юзалари ўлчами 2-8 мкм тенг. Қайд қилинган титан диоксиди кукунларида ёруғликнинг комбинацион сочилиш спектрлари ўта катта интенсивликка эга бўлиб, минирезонаторли кюветалар (фотонли тузоқлар)да уйғотувчи нурнинг қамалиши билан бевосита боғлиқдир. Уйғотувчи нурланишнинг ёруғликнинг комбинацион сочилиш сигналига ўта самарали айланиши сабаби фотонли тузоқда жойлашган дисперсли муҳитда уйғотувчи нур фотонининг катта тўлиқ йўл босиб ўтиши билан боғлиқлиги орқали тушунтирилган. Мис буғларидаги лазернинг иккинчи оптик гармоникаси ($\lambda_{уйғ}$=255.3 нм) таъсирида рух оксиди микроструктураларида хона ҳароратида уйғотилган юқори интенсивликка эга бўлган фотолюминесценция ($\lambda_{мак}$=385-390 нм) кузатилган. Олинган натижалар рух оксидининг микро ва наноструктуралари базасида янги лазер материалларини яратишда қўлланилиши мумкин. Фотонли тузоқлар заминида ишлаб чиқилган оригинал усул кенг туркумдаги ноорганик ва органик ультрадисперсли моддаларда юзага келадиган иккиламчи нурланишнинг суст сигналларини қайд этишда улкан истиқболли имкониятларни яратади.

Калит сўзлар: рух оксиди, фотонли тузоқ, фотолюминесценция, ёруғликнинг комбинацион сочилиши, сканерли электрон микроскопия, элемент таҳлил.

©Академия наук Республики Узбекистан, 2022 г.